氣候變遷對農作物生產之影響
第11章　溫室效應及減量措施對農業之經濟
影響評估　161-181, 1998

第十一章 溫室效應及減量措施對農業之經濟影響評估

張　靜　貞
中央研究院經濟研究所暨
國立台灣大學農業經濟研究所

摘要 …… 162
壹、前言 …… 162
貳、溫室效應對農業生產之經濟影響 …… 164
參、減量措施之成本 …… 168
肆、臺灣地區之評估研究與成果 …… 169
伍、結語 …… 176
陸、引用文獻 …… 177
英文摘要 …… 181

第十一章 溫室效應及減量措施對農業之經濟影響評估

張 靜 貞
中央研究院經濟研究所暨
國立台灣大學農業經濟研究所

摘 要

由於工業快速發展，大量使用化石燃料，導致溫室氣體在大氣中濃度大幅提高，過多的溫室氣體造成溫室效應，使地球溫暖化，進而引發全球性氣候變遷，造成地球氣溫上升，降水型態和降雨量改變，此種改變對世界自然生態體系造成重大衝擊，也對全世界的農業生產結構及產量帶來許多直接與間接的影響。為了協助政府決策者對選擇最佳之減量策略，經濟學者必須評估各種減量策略之「成本」與「效益」，本文中蒐集彙整近十年來國內外在農業經濟方面的評估文獻與報告，並分別自「效益面」－溫室效應對農業生產之經濟影響、「成本面」－溫室效應減量措施之影響、與目前臺灣地區所進行之研究計畫作一回顧，除了將重要之研究成果加以討論與比較外，並嘗試對未來研究方向作一些建議。

關鍵詞：溫室效應、農業生產、政策、經濟評估、成本、效益。

壹、前 言

在大氣中主要的溫室氣體有二氧化碳、甲烷、氟氯碳化物及氮氧化物，近年來溫室氣體排放量的持續增加，已造成地球的溫室效應。溫室效應所帶來的地球溫暖化，會明顯地對於全球之溫度、降水量、氣候型態、太陽輻射能....等產生很大的改變。在1988年聯合國與世界氣象組織(World Meteorological Organization)設置了一個政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change；以下簡稱IPCC）著手各項相關之研究工作。IPCC的研究共分為三個工作小組(Working Groups)分頭進行，第一個工作小組由英國主持，專責於測定溫室效應之存在與程度的科學研究，第二個工作小組由蘇聯主持，負責研究溫室效應對生態物理環境、人體健康及社會經濟活動所造成之影響，第三個工作小組由美國主持，負責有關制定溫室效應因應策略與減量機制之研究(OECD, 1991)。在1992年的十一月間，由美國所主持的第三個工作小組重新調整其任務，以衝擊(impact)、減量(mitigation)與調適(adaptation)三大策略之社會經濟面向評估為主，本章即以第三個工作小組之研究範疇為依據，並以農業生產為主題，回顧近十年來各國與臺灣所作之社會經濟評估文獻。

一般而言，因全球氣候變遷所造成的溫室效應影響可分為兩大部分：自然環境的衝擊與人文環境的衝擊。在自然環境之衝擊方面，首先我們所面臨到的是全球氣溫的上升，一旦氣溫上升，對整個自然生態方面有四個

重要影響：(1)海平面上升；因冰山、冰川的融化及海水溫度上升導致的海水熱膨脹，造成海岸上升，沿海精華區的土地流失，並會使得地下水質鹽化。(2)海水溫度提高，將改變魚類的生態，使得漁業資源變動並造成漁場變化。(3)病蟲害、雜草的增加，此種現象會提高農業投入的成本。(4)土壤蒸發量大，土壤溼度降低，造成土壤降級，影響農作物之生長與單位面積產量。此外，隨著地表溫度日漸升高，降水的型態及降雨量也因之改變，已有不少研究報告分析全球氣候變遷所造成的溫度上升對農業生產力、病蟲害防治及灌溉需水量的直接影響，但各方眾說紛紜，對問題的嚴重性目前尚無定論，但可以確定的是，根據IPCC (1996)的報告指出溫室氣體持續在增加中，而由溫室氣體所造成的全球氣候與自然環境的變遷也較以往來得明顯，例如1990至1995的聖嬰現象，被視為過去120年來最特殊的一次，此現象在未來也將會持續下去，因此勢必將對全世界的農作物生產結構及產量帶來許多直接的影響。

但在所謂的溫室氣體中，除了氟氯碳化物外，其餘三種(二氧化碳，甲烷及氮氧化合物)都與農業相關。首先，溫室氣體之一的二氧化碳是植物行光合作用的主要原料，綠色植物可將二氧化碳經由光合作用轉換成氧氣，然而植物同時也會在呼吸作用中排放出二氧化碳。其次，氮氧化物的主要排放來源為氮肥的使用、土地使用改變及化石能源的燃燒。甲烷的主要排放來源則分別由水田、採煤、油氣系統、牲畜腸胃發酵、動物的排泄物、垃圾掩埋、廢棄物及生質能而來。一些文獻提及農業為製造這兩種溫室氣體(甲烷及氮氧化物)的主要部門(Amstel and Swart，1994)，而二氧化碳最主要的排放來源則來自工業部門石化能源的使用，在燃燒石油、煤炭、天然氣的時候會生成大量的二氧化碳，導致二氧化碳在大氣中的濃度自工業革命後急速上升，成為溫室氣體中比例最大的成份，影響溫室效應最大。

在人文衝擊方面主要是制度與政策面的影響，一旦溫室效應所造成的全球暖化問題引起了無法彌補的生態失衡，除了直接影響自然環境與農業生產外，更間接影響到人類的經濟活動、國際貿易、生活品質、人口分布...等，因此，研究全球氣候變遷的影響已衍然成為近年來科學家及社會學家關切的重點(葉，1995)。在1992年6月巴西里約舉行「地球高峰會議」，由一百五十四國領袖共同簽署「氣候變化綱要公約」(Framework Convention on Climate Change；簡稱FCCC)。FCCC將國家分成兩組來規範：第一組國家(Annex I)規定在2000年時溫室氣體排放量回歸至1990年水準；非第一組國家(Non-Annex I)則規定在2000年時溫室氣體排放量不必回歸至1990年水準，但必須盡力降低溫室氣體的排放。希望能抑制溫室氣體的排放，使得溫室效應對地球的影響降到最低。我國已積極準備加入簽署此國際公約的行列，一旦簽署同意生效後，則須遵守公約規定，降低溫室氣體之排放量，因此國內的環保、經濟及相關單位正積極研究此公約之制定對本國總體經濟目標及個別產業發展所造成之衝擊程度，以及如何用最有效率及社會成本極小的手段在限期內達到公約的要求。

1997年12月1日至12月11日在日本京都召開第三次締約國大會，在該大會中簽署「溫室氣體減量議定書」及其他法律文件，藉以規範工業國家2000年以後的排放目標。京都協議書中主要的協定包括：削減對象訂為二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、冷媒替代氟化氮HFC、PFC、SF6六項、以基準年1990年之排放量並換算成二氧化碳為基準、目標期間設定為2008～2012年這五年的平均值、削減目標各國互異，先進國家全體平均削減5.2%，其他條文尚包括1998年再議排放權交易、歐盟共同實施、承認森林吸收溫室氣體功能等，預測新興工業國家(如我國)將於2010～2015年間加入減量行列(柳，

1997；謝，1997)。

為了協助政府決策者對選擇最佳之減量策略，經濟學者所扮演之角色是去評估或預測各種減量策略之「成本」與「效益」，成本面的評估指的是這些減量策略之實施為人類及整個社會所帶來之負擔，例如：減少含碳能源之使用會減緩經濟成長速度、輔導農民降低肥料之使用以抑制氧化亞氮排放量可能造成農業之減產，並影響農民之收入等。效益面之評估則是探討在溫室氣體減量或獲得控制之後將為人類及整個社會帶來多少的利益，此一評估目前皆以衡量溫室效應所造成之損害作為減量所獲利益之代表，例如：氣溫上升與降雨之異常所造成某些熱帶地區農業之減產，此減產所帶來之損失即可作為減量效益之估算依據。

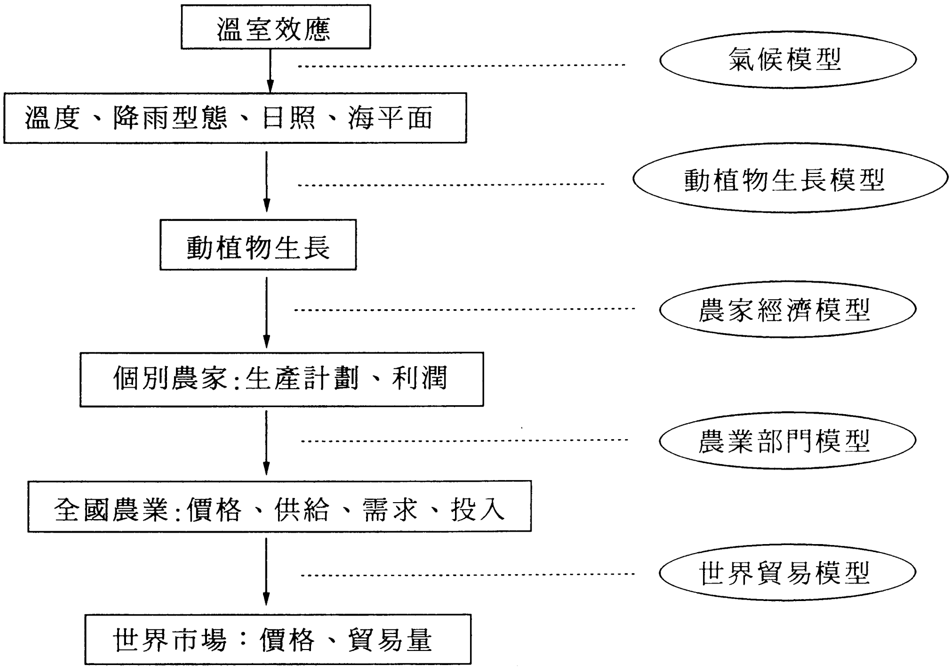
在評估減量策略之成本與效益時有若干較易引起爭議之處，值得特別注意。首先是在分析時點上有先後與長短期之區分，由於實施減量措施之後所產生之成本係發生於較為短期的未來，但農業生產因減緩氣候暖化所得之效益則需要較為長期的時間才能實現或觀察到，因此這兩種結果必須有長短期之區分，並用時間與折現率來加以彙整比較，方可作為決策部門研擬因應策略之參考用。其次應注意對溫室效應強弱之假設是否一致，由於目前的研究結果尚有許多不確定性，這也使不同研究所作之假設往往有所差異，難以客觀的比較。第三個值得注意之處則是評估時是否考量農民或整體農業部門所作的調適行為(adaptation)，這些調適行為之存在與否往往會影響結果之顯著性。此外，不同減量策略之間是否存在某種矛盾或互補關係亦應加以深入探討，以免產生減少了某種氣體排放卻導致其他氣體排放增加之錯誤決策。以下各節將分別針對「效益面」－溫室效應對農業生產之經濟影響、「成本面」－溫室效應減量措施之影響、與目前臺灣地區之研究進度與成果加以討論。

貳、溫室效應對農業生產之經濟影響

本節所回顧之文獻是以探討氣候變遷對全世界以及各國(或各地區)的農業生產以及個別農家的影響為主。首先，以個別農民而言，這些研究想瞭解農民將如何改變生產技術、利用新品種、轉變耕作方式、甚至選擇不同作物來因應氣候之變化，以維持其農場的利潤與農家生計。其次就國家的層面而言，這些研究探討的則是個別農民的行為改變是否將造成全國農產品之減產、進口需求之增加、市場價格與存貨之異常波動、甚至於糧食安全與管理等政策面之調整，此外國家資源(農地、灌溉用水、農業勞力)配置方面的變化與調整也不容忽視。最後，就全世界而言，糧食供需結構之改變勢必造成世界農產品市場價格與貿易型態之改變，進而影響各國之外匯收支平衡、國民所得、所得分配、糧食安全等。這些研究之關連性可用《圖一》來加以表示，由圖中可明顯看出這類型研究一定需要跨科際之整合研究群組織始能完成，《圖一》中的前二環節需要大氣、海洋、地質等自然科學家之合作，中間的作物成長模型與分析則有賴農藝、畜牧、農化、土壤、植病等農業科技專家之合作，最後三個環節乃目前經濟學者所切入的研究重點。

全世界農業的整體影響方面，許多研究是利用全球環流模式(General Circulation Models，以下簡稱GCMs)之模擬來預測全球氣候的變化及探討其可能帶來的影響(OECD, 1992)。IPCC (1996)曾將世界各地區之模擬結果彙整見《表一》，這些結果顯示氣候變化對主要糧食作物產量皆有極明顯之影響，但影響程度在同一地區出入頗大，地區間的差異也很大。其他主要的發現有Rosenzweig and Parry(1994)，他們利用三種不同的GCMs(GISS、GFDL、UKMO)來估算氣候變遷所造成之溫度及降水量的改變，根據這些變化，Rosenzweig and Parry 進一

《圖一》溫室氣體減量對農業的影響效益面的分析架構



《表一》溫室效應對世界各地區農作物產量之影響用GCMS所模擬之結果

地區	作物	產量影響(%)
拉丁美洲	玉米	-61%→ +
	小麥	-50%→-5%
	大豆	-10%→40%
前蘇聯	小麥	-19%→41%
	穀物	-14%→13%
歐洲	玉米	-30%→ +
	小麥	+ or −
	蔬菜	+
北美洲	玉米	-55%→62%
	小麥	-100%→234%
	大豆	-96%→58%
非洲	玉米	-65%→ 6%
	粟	-79%→63%
南美洲	稻米	-22%→ 28%
	玉米	-65%→-10%
	小麥	-61%→ 67%
中國大陸	稻米	-78%→28%
其他亞太地區	稻米	-45%→30%
	牧草地	-1%→35%
	小麥	-41%→65%

資料來源：IPCC (1996)

一步研究此變遷對於農業生產、農產品價格之影響及遭遇到饑荒的風險，最後發現，對穀物總體產量之影響在負1% 到8% 間；在沒有調整行為及排除二氧化碳對農作物之正面影響下，因氣候變遷所引起的穀物價格上升在24% (利用GISS估算)至145% (利用UKMO估算)；若對於氣候變遷有調整行為時，則穀物價格上升在10% (利用GISS估算)至100% (利用UKMO估算)；此外，潛在的饑荒人口也會因為氣候變遷而上升，從四千萬人(利用GISS估算)到三億人(利用UKMO估算)。

而Reilly *et al.* (1994)則將焦點集中在分析貿易的影響，說明出口之情況對影響國家之淨經濟的衝擊，結論是主要的農業出口國獲利，雖然使他們已遭受到生產降低的損失，但仍能由價格的上升來彌補生產的損失；相反的，進口國之淨經濟影響會因為農產品價格上升而受到損失，換句話說，每個國家因全球氣溫變遷所帶來的淨影響，在不同的情況下存在著差異，因此在估計全球性的影響時必須特別注意。

不過，在變化時間漫長(預測一百年間升高攝氏1.5度到4.5度之間)的全球氣候變遷中，調整行為扮演一個重要的角色，因為氣候變化是漸近的，所以農業受到影響也是逐漸變化而很難發現。如果在這變遷中利用適當之調整行為，將會降低因氣候變遷所帶來的負面影響；再者，農民對於其所面臨的先天氣候條件，也會充份利用目前可行的技術，以求利潤極大。因此，對於溫室效應對農業之影響，調整行為可帶來一些正面的效果，以彌補農業因此而得到的傷害。在Rosenzweig and Parry (1994)及Reilly *et al.* (1994)研究中，便分別對於作物種類、種植時間、施肥程度及灌溉等調整因子加以組合，模擬調整行為所帶來的影響。

二氧化碳對農業的影響目前仍有許多爭議，主要是因為二氧化碳能增加光合作用的速度且抑制植物氣孔的張開，如此能加速作物的生長，Rosenzweig and Parry 便基於實驗的發現，估計二氧化碳的濃度若由330ppm上升到550ppm，大豆的生長會上升34% ，小麥22% ，稻米19% ；Wolfe and Erickson (1993)亦提出類似的結果。雖然已有許多實驗證明此觀點，但Wolfe and Erickson (1993)認為這個效果有被高估的傾向，因為這些實驗都在完美的條件下操作，忽略了氣候條件的限制、病蟲害、土壤降級與酸化、灌溉等在開放田間下可能出現的生產成本，及與其他環境壓力之相互作用的影響(Reilly，1995)。不過，更值得注意的是二氧化碳的上升會造成雜草及病蟲害對農業的損失，尤其是開發中的國家，受限於殺蟲劑及病蟲害的科學知識，無法有效的控制由於雜草及病蟲害所帶來的負效果，因此二氧化碳的增加在開發中國家對農業的影響並不確定，但對於已開發國家，如美國因控制病蟲害的能力較強，可能會有正面的影響(Kaiser and Crosson，1995)。造成二氧化碳加倍對農業之影響無法確定的原因有二：GCMs本身之可信度，及GCMs對農業影響預測之限制。目前的研究多半利用GCMs去模擬未來的氣候變遷，但此種模型不見得能涵蓋所有可能有交互作用的因子，縱使能皆納入模式中，輸入之參數值往往來自有限的觀察，可覆驗的資料不足，因此造成GCMs在升溫預測上有高達數倍的差異。此外，GCMs之最小結果單位為2500平方公里，對於農業而言，範圍太大，結果過於粗略，對全球之影響也只能估計出大略的數值範圍，在實證上的運用不夠精確，成為另一個不確定的原因。

雖然這兩個研究的著眼點不同，但在一些觀點上仍獲的相似的結論：(1)對於全球性農業生產、價格及經濟的福利，在有調整行為及二氧化碳的正面影響之下，受到全球氣候變遷而造成的影響約為全球國民生產毛額之0.3% 。(2)二氧化碳之正面影響十分重要，約帶來115至190兆美元的利得，而調整行為相較之下便較不重要，約有7至

24兆美元的利益。(3)低所得國家所受到的衝擊比高所得國家嚴重(Reilly，1995)。

Darwin *et al.* (1995) 則利用CGE模型(Computable General Equilibrium Model)，以「全球」的觀點來討論氣候變遷的影響，在此研究中同樣發現若能對於氣候的變化提出因應的策略，加以調整、適應，則將會因氣候變遷所帶來的損失減輕，甚至可以轉換成利得。另外也有研究是討論開發中國家之農業與氣候變化的關係(Antle，1995)，多數的開發中國家位於熱帶或亞熱帶，GCMs並不能預測這些區域特有的氣候現象(如：太平洋上的低氣壓或加勒比海的颶風)，因此，全球氣候變遷對開發中的國家所造成的影響效果仍不確定；不過，可以確定的是，許多開發中國家有眾多人口及農業用地靠近海岸，如印尼、菲律賓，一旦因為氣候暖化而造成海岸線的上升，這些區域可能會被洪水侵襲、地下水鹽化，漁業的發展受阻，造成此區域未來發展上的限制。另外一個影響是病蟲害，尤其在熱帶，熱與潮溼更會造成生物的疾病問題(Qureshi and Hobbie，1994)，會使此區域農業投入成本增加，降低農業的相對競爭力。由此可知，開發中國家之農業受到氣候變遷的影響仍有待深入的了解。

上述的研究主要是以全世界的觀點去考慮溫室氣體所引起的氣候變遷對全球農業之影響，個別農場差異性的研究也有重要的發現。Kaiser(1993)研究在1980到2079年之間，氣候逐漸變化對於Minnesota及Nebraska之代表性穀物農場的影響。農場可利用不同的品種(早熟、中熟、晚熟)之穀物種類、不同作物組合及調整操作時間以因應氣候變遷，但不計入二氧化碳之正面影響及技術進步。Kaiser指出在較冷的區域如Minnesota之農場，比較能夠適應氣候的改變，並且能從氣候溫暖化中得到利益；估計在2070年淨農場利得會比氣候無變化時增加4%；而南部的Nebraska，淨農場利得則會下降。調整行為方面，如果Minnesota之農場利用調整行為，則會增加淨農場利得，若無調整行為，到2070年淨農場利得會比氣候無變化時降低72%。Adams *et al.* (1990)研究也認為美國南部的州一般而言經濟福利下降，北部的州上升，這與Kaiser的結果頗為一致。Bowes and Crosson (1991) 研究氣候變遷對Missouri、Iowa、Nebraska和Kansas四州農業生產的影響，但是結果發現氣候變遷對於美國區域的經濟影響並不會很大，全區域生產約下降0.3%到9.7%，尤其是在氣候變遷之後所作的技術上的調整行為，更能緩和此一現象(Kaiser and Crosson，1995)。

Mendelsoln, *et al.* (1994，1996)指出上述的研究皆屬於所謂農藝學的評估方法(Agronomic Approach)，這種方法的缺點是很難將農民對環境的調適行為考慮在分析模型中，只能適用於實驗室一切控制因素皆掌握的情況下，與實際農民在田間耕種情況勢必有極大差異。因此Mendelsoln *et al.* (1994)三人提議利用李嘉圖地租論所推導出來的一種地租法(Ricardian Approach)作評估依據，即利用美國三百個郡的橫斷面資料估算氣候變化對於土地價格的經濟影響，由於這種方法評估的是氣候對整個農場收益的長期影響，而非針對某一種作物的產量，因此方法上將農民因應氣候變化所作之調適與作物改變都考慮在內。他們的實証結果發現，除了秋季之外，提高氣溫將會降低農地的平均價值，而秋季則是因為農場外的經濟活動增加而呈相反的結果。在另一篇最新的報告中Mendelsoln *et al.* (1998)三人將前面的研究延伸，除了放進氣候因子的平均值外，也將氣候的變異程度(Variation)加入考量，重新評估氣候變化對農場價值之影響，結果發現氣候變異程度的加大對農場價值具有負面之影響，因此他們強調以往所發現平均氣溫升高對農場價值之負面影響其實應來自變異程度提高所致，而暖化本身則是有正面影響的。這個一系列的研究皆是利用土地價格之差異

作為評估依據，在這方法之下，即使忽略了二氧化碳對產量所帶來的肥化益處(fertilizer effect)，全球暖化對於農業仍然有正面的影響 (Kaiser and Crosson，1995)。

綜合而言，目前分析全球氣候變遷對農業的影響之結果存在許多差異，但較為經濟學者所公認為可接受之結論，則可歸納如下(Innes and Kane，1995)：

(1) 溫室氣體之累積對農業部門造成的成本會因不同估算方法而異。

(2) 發展中國家因溫室效應所帶來之損失大於已開發國家。

(3) 農民因應氣候變遷所作的調整可降低氣候變遷對農業的相對成本。

(4) 誘導創新將會降低因溫室效應所帶來的逆效果。

參、減量措施之成本

本節所討論的文獻以探討農業部門受到減量措施實施後之影響為主，這方面的實証研究文獻在非農業部門極多，但農業則相對上極少，且多集中在農業本身相關的減量措施上，如:減少氮肥使用及伐木也降低氧化亞氮之排放，減少水稻田面積及改變飼料配方以減緩甲烷之釋出，或利用植樹造林來吸取大氣中的二氧化碳等。主要的探討重點則是在於這些減量措施背後所隱含的社會成本，那些人受害，那些人獲利，是否有環保與經濟成長之間的衝突存在，以及農業部門對減緩溫室效應所可提供的貢獻等。

首先，Adams *et al.* (1986)曾分析大氣臭氧濃度之變化及相關之空氣品質管制政策對美國農業部門之影響，結果發現空氣品質之改善對農業生產有正面的幫助，但由於這些空氣品質管制措施皆針對工業部門所制定，故該文並未探討農業部門所需付出之代價與成本。其後，Adams *et al.* (1992) 嘗試分析美國農業部門受到各種溫室效應減量措施之經濟影響，實証結果顯示以甲烷之減量而言，不同減量措施之成本差異頗大，若是利用降低水田之施肥量為減量策略，其成本每減少一噸甲烷排放必須花費500至600美元，若利用牛羊飼料配方之改變，則減量成本大幅提高，增為平均每噸甲烷3,000至5,000美元之水準。以氧化亞氮之減量而言，採用減少氮肥使用之策略，其平均成本每減少一噸氧化亞氮必須花費4,000美元以上。文中並提出這些成本大多來自於減量措施導致產量的減少及食物價格的上升，同時大多為消費者所負擔，故對低收入家庭極為不利。而降低肥料投入，亦會產生增加作物種植面積與農地利用型態改變之副作用，此策略將會與其他降低農地面積之策略互相衝突。探討植樹造林吸取二氧化碳的文獻較多，其他方式(如：使用量管制、徵稅等)雖為學者所提議，但涉及政治與所得重分配問題，實際執行上阻力較大，相對而言，造林吸碳具潛在的外部環境效益，社會阻力小，將來木材的收穫又具經濟價值，所以成為一個很重要的「綠色」政策。Adams, et al.(1993)利用價格內生化的農業部門模型來分析植樹於美國農地上之社會成本及對農林部門各方面的影響，文中將美國分為七個地區，各地區之生產成本不同，吸碳率亦不同，結果主要有：(1). 用農業土地植樹來吸取二氧化碳的社會成本在吸收目標較低(10至20%)時非常有限，但會隨吸取目標之提昇而迅速加大；(2). 就每單位二氧化碳之吸取而言，其單位成本每噸為美金18元(吸取目標10%)至55或200元(吸取目標50%)，此單位成本之上升主要原因是因為隨著吸取目標之升高，會迫使越來越多的品質較好的農地加入植樹行列，此時所付出的社會成本將大幅增加；(3). 若只植樹不砍伐，大部份之社會成本會因農產品價格之上升而由消費者來負擔。但若加以砍伐，則消費者會因較低廉的木材及木製品而獲得補償，但傳統木材市場之生產者則會因木材價格之大幅下降而蒙受重大損失。

Adams *et al.* (1996)進一步修改1993年建立的靜態林業部門為動態跨期模型，利用木材管理市場模型與存貨模型之理論將未伐採的樹木視為存貨，若價格高時可增加伐採，木材價格低迷時可不伐採作為下一期存貨，透過存貨作跨期調整，而非過去樹木有一定的伐採量，此方式可避免Adams等人於1993年的研究中所得到的紙漿價格下跌現象，所建立的林業和農業部門最適化模型(Forest and Agricultural Sector Optimization Model，簡稱FASOM)將美國分為9個地區(不同地區其土壤生產力、生產樹種、管理程度等皆不同)，來生產農牧產品及硬木及軟木之初級林產品，再透過產品加工生產六種次級林產品；管理程度是指對林業經營採取集約經營或粗放經營，過去研究將管理程度與規模大小視為外生變數，此模型將它們內生化。模擬不同公有林收穫政策對私有林管理程度的影響，結果發現若政府部門抑制木材收穫量，則市場透過跨地區性的移轉以避免價格的波動，有許多地區轉為生產軟木且採取粗放經營。

Parks and Hardie(1995)利用成本效率方法討論誘使邊際農業土地移轉為林業使用之補貼金額與吸取二氧化碳數量比例大小。他們將美國分成北、西、南三區且農地依其生產力大小分級，在追求土地擁有者之利潤極大下，求得最適土地配置及商品供給量，再將利潤折現得農地和林地最適租金之現值。若林地最適地租現值高於農地最適地租現值，即農地造林淨機會成本(農地最適地租現值-林地最適地租現值)大於零，則政府不須對農地轉為林地種樹之地主進行補貼，反之則政府必須對其補貼且補貼至林地最適地租折現值與農地之最適地租折現值相同，即農地造林淨機會成本等於零。Parks and Hardie模擬美國之吸取二氧化碳計劃，結果顯示造林應集中於牧地，且隨著吸取目標提高政府支出增加速度更快，若所有登記農地造林土地116.1百萬公頃皆加入植樹行列，可吸取美國每年碳排放成長率1%約150百萬公噸，政府支出約為1994年國內生產毛額的1%約67.4億元。依每噸吸碳量之最小政府支出決定使用的土地數量，則農地造林面積以23.1百萬公畝吸取45百萬噸的碳最符合成本效率。

肆、臺灣地區之評估研究與成果

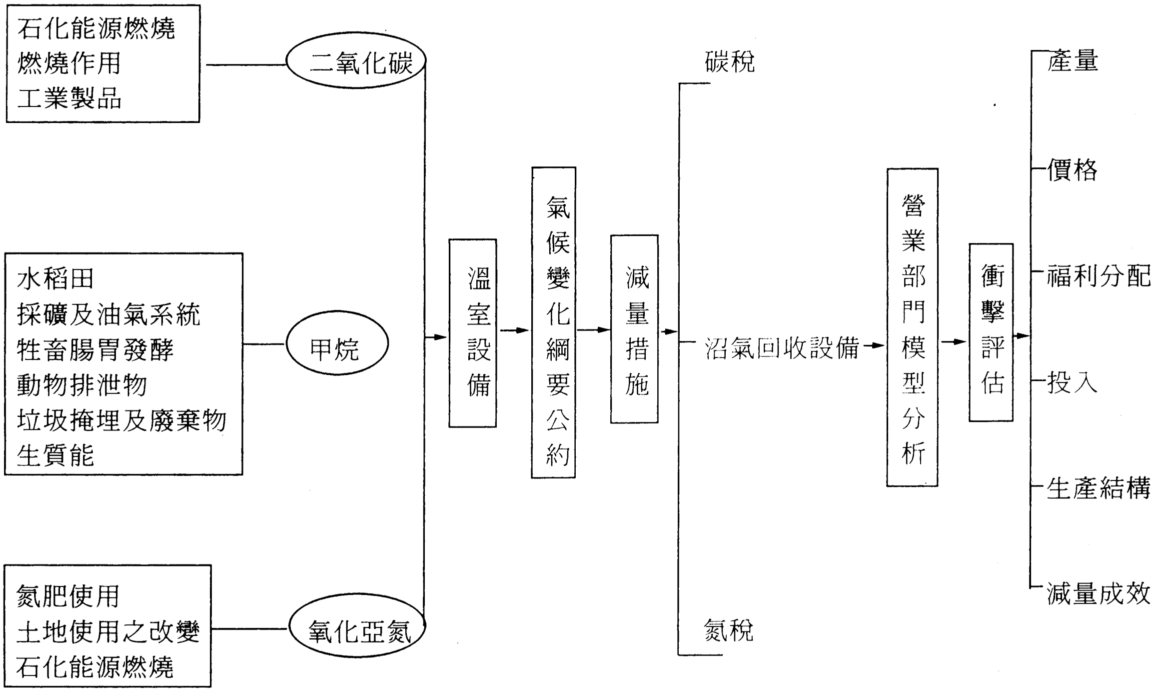
我國在氣候變遷的研究近年來已有許多研究成果陸續發表，在自然科學層面大多為大氣、海洋變化、溫室氣體排放源及排放量的估測(柳，1995，1996)，人文制度面的研究亦有許多初步的成果報告，主要著重於因應國際法規所造成的衝擊評估，諸如：許志義(1995)討論FCCC對台灣能源產業可能發生的衝擊及未來能源產業政策應有的方向，若台灣依照FCCC的要求，則電源開發與電力供應必受到極大的影響，對於經濟發展有相當負面的衝擊。張(1995)探討氣候變遷對經濟及產業面的衝擊，作規範性的研究，並對於碳稅的課徵作一敏感度分析，結果發現碳稅會提高能源價格，降低高碳能源的需求，並會改變產業結構。羅(1995)討論FCCC對貿易本身及貿易體制的影響，發現燃料貿易及最終產品的貿易減少，國際間技術貿易增加，但對已開發國家之國際競爭力有不利的影響。李(1997)之研究報告則指出碳稅之課徵將使得電力、天然氣、與石油煉製業等產品價格上漲之現象。

此外，黃(1996)等之研究則著重在各種減量的經濟工具與參與國際合作策略之選擇，文中將減量工具分為：碳稅，排放許可制度、聯合減量等三種，並分別自有效性、公平性及可執行性三個角度來比較其優缺點所在。劉(1996)探討減量對台灣人口分佈與都市發展之影響，文中並強調因應國際法規的減量工具對生產者與消費者所帶來之負擔不同，故按生產活動所選擇之策略與所訂定之標準會對家庭部門造成不公平的現象。

在農業方面，效益面的評估集中在分析氣候變遷對農作物產量所造成的直接影響，劉及郭 (1995) 曾根據過去七十年(1921-1991) 來之氣候資料作詳盡之統計分析，指出臺灣的氣溫正逐年上升中，但降雨量與相對濕度則呈遞減之趨勢，劉及郭 (1995) 中並利用計量迴歸方式分析氣候因素(包括氣溫、降雨量、日照、颱風等)對臺灣農作物單位面積產量之影響，結果發現除了颱風對產量有顯著之負面影響以外，其它氣候因素之影響則皆不顯著。Wu (1996) 利用1952至1992年的氣候資料卻發現氣溫、降雨量等氣候因素對台灣稻米的產量有顯著且非線性之影響，其研究也預測溫室效應所造成的暖化將會降低台灣稻米的單位面積產量。由於Wu (1996)及郭(1995)所用之資料時間長短並不一致，且兩篇文章皆未探討二氧化碳增加對產量的正面貢獻，目前無法比較得到確實之結論，但蕭及吳 (1996) 接著利用台灣、日本與韓國歷年的跨國性資料，分析亞洲地區稻米產業生產力因氣候變遷所產生之變化，結果發現氣候暖化對台灣稻米的產量有顯著且負面之影響，對日本與韓國的產量則有正面之影響，因此大致而言，在不考慮農民可作調適及二氧化碳之肥化效用的情形下，溫室氣體之減少或減緩暖化現象對台灣的稻米產量應或多或少有正面之效益。

由上述效益面之報告雖可明顯看出全球氣候暖化對台灣稻米產量確實有不利且顯著之影響，但對於其它重要農產品之影響情形則無法看出，且分析架構集中於對作物產量之直接影響，沒有考慮到農家收入與利潤之變化，也無法反映出農民在面臨全球氣候暖化之同時所採用的一些調適行動或因應措施(例如：改變耕作方式、要素投入、作物組合等之調整)。根據Garcia *et al.* (1986)之說法，沒有考慮其它農產品固然可能會低估了減量之效益，但沒有考慮農民的調適行為也極可能高估了減量之效益。至於更進一步對全體農業部門之影響則尚在進行中，並未有任何研究成果發表。

成本面之評估文獻僅有張 (1995)、張及林 (1998)、以及Chang(1998) 三篇探討因應FCCC的各種減量策略對農業部門所產生的衝擊，張靜貞與林依瑩之研究著重在由碳稅或氮稅等經濟工具所導致的能源與相關投入價格上升對於農業所造成的影響，Chang(1998)則分析利用植樹來吸取大氣層二氧化碳計劃之可行性。張林文中首先建立一個包含八十餘種農畜產品之農業部門中長期預測模型，除了模擬各種減量措施實施時對農業部門的產量與價格、福利分配與區域生產結構所造成的影響以外，並計算農業部門本身對三種溫室氣體之減量貢獻，作為政策制定之參考依據，其整體分析架構可用《圖二》加以表示。



《圖二》溫室氣體減量對農業的影響－成本面之分析架構

農業部門模型係根據Samuelson (1952)與Takayama and Judge (1971)等人所發展之空間均衡(Spatial Equilibrium)概念所設計出來的數學規劃模型所建立，經過Duloy and Norton(1973)，McCarl and Spreen(1980)等人近三十年來的開發，將其應用在農業上而建立了具各種分析功用的農業模型。早期此類模型多半應用在資源規劃與發展策略之評估，近期之發展則多偏重在分析政府各種市場干預、所得補貼、或貿易保護政策的經濟影響程度(Chang *et al.*，1992)。近年來受到各國重視污染防治與環境保護政策之影響，亦促使此模型與各環保政策之結合，例如Adams *et al.* (1986)曾利用此類部門模型來分析大氣臭氧濃度之變化及相關之空氣品質管制政策對美國農業部門之好處，Adams *et al.* (1990)亦用類似方法來分析酸雨及氣溫變化對美國農業之影響。

在台灣此類型模型之建立已有初步成果，並已應用在農業政策與技術變動等分析上(張，1996；張及陳， 1995)。主要的特點有三：(1)包含多種農畜產品，產值佔全國農畜產品產值將近90%，因溫室效應及相關的減量措施對農業的影響是全面性的，不可僅由少數作物的角度來評估其影響；(2)價格與產量在模型中均為內生決定的，即在資源(土地及勞動力)有限的條件下，運用自由市場供需均衡之調整機能來求得市場長期均衡解，因此可以將農業部門之調適行為予以反映出來；(3)此模型之技術面是建立在各生產活動的投入與產出之關係上，因此可以用來分析針對各項投入(能源、肥料等)所設定之減量工具，模擬各種減量措施實施時，對農業部門產量與價格、福利分析、區域結構的影響，作為政策制定之參考依據。

根據張及林(1998)所作之實証分析，主要結果彙整於《圖三》中，在此僅以碳稅為例來說明二氧化碳的減量對農業各部門之衝擊程度可能有多大。農業生產過程中與碳稅直接關聯的能源費用雖然佔農業中間成本投

入比例不大，但若考慮其他會隨能源價格調漲而調整價格的相關性投入(如機工費、運輸費等)，則這些投入的上升有可能將會對機械化程度快速提升的農業部門成本面產生極大的影響，進而影響農業生產結構。就農產價格與數量變動而言，當成本投入上升，透過市場機能的運作，造成價格上升《表二》及產量與消費量的下降《表三》，福利分配之衝擊則發現消費者福利下降，但生產者福利卻上升《表四》。消費者福利下降的原因是價格上升造成消費者支出增加，消費者福利下降，生產者福利不降反升的原因是當投入成本上漲時，農民會轉作能源投入較少的作物，以改變作物組合來因應成本面的變動，在結果中特別發現，生產組合改為偏向勞動投入為主的作物，造成勞動需求上升及工資的上漲《表五》，因此，在生產者福利中，來自勞動所得的生產者福利大幅上升，抵消了因種植面積下降與投入成本提高對生產者福利之負面影響，因此造成生產者福利不降反升，但是另一方面這對原本已面臨勞動力老化及季節性勞工短缺的農業，可能造成極不利的影響，這種轉向勞動密集之可能發展趨勢值得進一步加以分析。區域結構則顯示出各地農業用地面積都會呈下降的趨勢《表五》，若從地區別來看，則以東部變動幅度較大，即在能源價格上升的過程中，東部所受到的衝擊最大，也顯示東部地區農業生產的調適能力較別區來得差。

減量工具	模擬結果
以碳稅來分析二氧化碳的減量	· 價格上升 · 產量與消費量的下降 · 消費者福利下降 · 生產者福利上升 · 勞動需求及工資的上升 · 能源與機工投入明顯下降 · 氧化亞氮之排放增加
以氮稅來分析氧化亞氮之減量	· 價格與數量增減幅度不大 · 消費者福利微幅上升 · 生產者福利則明顯下降 · 農作面積微幅下降 · 肥料使用量下降 · 二氧化碳之排放減少
養豬業增加沼氣回收設備來分析甲烷之減量	· 毛豬價格微幅上升 · 毛豬產量微幅下降 · 生產者與消費者福利微幅下降 · 能減少甲烷排放量六成 · 可能會加速中小養豬戶之淘汰

《圖三》溫室氣體減量對農業的影響－成本面之分析結果

《表二》 能源價格上升對價格指數之影響

	10%	20%	30%	40%	50%
農畜產合計	102.52	104.76	106.91	108.94	111.05
一、農產	103.08	105.89	108.54	111.01	113.60
糧食與雜糧	101.91	103.78	105.77	107.68	109.90
特用作物	102.17	104.41	106.37	107.99	109.31
蔬菜	104.10	107.87	111.38	114.72	118.22
水果	103.26	106.11	108.73	111.12	113.56
二、畜產	101.70	103.08	104.49	105.87	107.29

資料來源：張及林 (1998)。

《表三》 能源價格上升對生產量指數之影響

	10%	20%	30%	40%	50%
農畜產合計	96.87	95.44	94.30	93.30	92.31
一、農產	95.37	93.40	91.93	90.71	89.50
糧食與雜糧	87.93	85.66	84.60	83.86	83.07
特用作物	98.32	97.39	96.78	96.57	96.28
蔬菜	97.16	94.74	92.60	90.68	88.77
水果	97.96	96.26	94.82	93.59	92.43
二、畜產	99.09	98.45	97.79	97.13	96.46

資料來源：張及林 (1998)。

《表四》 能源價格上升對農業部門福利分配之影響

單位：百萬元

	基期年	10%	20%	30%	40%	50%
消費者福利(1)	1325211	1317896	1312013	1306471	1301320	1296008
生產者福利(2)	33290	39708	45545	51148	56417	62224
毛　福　利 (3)=(1)+(2)	1358501	1357604	1357558	1357619	1357737	1358232
政府支出(4)	22311	18132	17554	17507	17615	17725
淨　福　利 (5)=(3)-(4)	1336190	1339472	1340004	1340112	1340122	1340507
			變動百分率(%)			
消費者福利		-0.55	-1.00	-1.41	-1.80	-2.20
生產者福利		19.28	36.81	53.64	69.47	86.91
毛福利		-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.02
政府支出		-18.73	-21.32	-21.53	-21.05	-20.55
淨福利		0.25	0.29	0.29	0.29	0.32

資料來源：張及林 (1998)。

《表五》 能源價格上升對各地區農業用地與勞動投入之影響(註)

	基期年	10%	20%	30%	40%	50%
一、農業用地(千公頃)						
北部	113	111	108	107	104	103
中部	378	372	268	365	363	363
南部	399	386	377	372	372	368
東部	121	117	113	109	106	103
總計	1011	985	965	952	945	936
變動百分率%						
北部		-2.39	-4.69	-5.82	-7.76	-9.14
中部		-1.73	-2.81	-3.61	-4.10	-4.03
南部		-3.30	-5.42	-6.74	-6.64	-7.75
東部		-3.28	-6.59	-9.83	-12.40	-14.87
總計		-2.61	-4.50	-5.84	-6.50	-7.37
二、農業勞動(百萬工時)						
北部	63391	64367	65358	66288	67308	68345
中部	280960	284287	287312	290227	292923	295659
南部	321150	324937	328268	331421	334203	337716
東部	67819	68766	69692	70587	74260	72347
總計	733320	742357	750630	758523	768694	774067
變動百分率%						
北部		1.54	3.10	4.57	6.18	7.81
中部		1.18	2.26	3.30	4.26	5.23
南部		1.18	2.22	3.20	4.06	5.16
東部		1.40	2.76	4.08	9.50	6.68
總計		1.23	2.36	3.44	4.82	5.56

資料來源：張及林 (1998)。

註：北部有台北縣、桃園縣、新竹縣、苗栗縣；中部有台中縣、彰化縣、雲林縣、南投縣；南部有嘉義縣、台南縣、高雄縣、屏東縣；東部則有宜蘭縣、花蓮縣及台東縣。

在減量成效方面，因為能源價格上升會影響投入費用之結構，能源與機工之投入有明顯的下降變動《表六》，故整體而言，能源價格上升對農業部門能源使用有抑制作用，自然由農業部門所排放出來的二氧化碳也隨之減少。但另一方面，我們同時觀察到肥料使用亦隨生產結構之調整而增加，因而極可能導致農業部門所排放氧化亞氮亦隨之增加的「副作用」。如何避免或疏緩這種副作用之出現乃成為擬訂溫室氣體減量策略時應慎重考量之處，尤其是各種政策工具實施以後彼此之間的互補性或可能產生的衝突，都應在規畫階段即納入考量。

《表六》　能源價格上升時對各項投入費用之影響

單位：百萬元，%

	基期年	10%	20%	30%	40%	50%
能源費	1617	2148	2264	2407	2579	2701
實質費用(註一)		2041	1887	1852	1842	1801
變動率(註二)		26.22%	16.68%	14.50%	13.92%	11.36%
機工費	17275	16127	16530	16993	17582	18160
實質費用		15359	15027	14777	14652	14528
變動率		-11.09%	-13.01%	-14.46%	-15.19%	-15.90%
收割費	2823	2284	2341	2422	2506	2592
實質費用		2175	2128	2106	2088	2074
變動率		-22.95%	-24.61%	-25.40%	-26.02%	-26.55%
能源相關投入						
合　計	21715	20656	21135	21822	22667	23453
實質費用		19575	19042	18734	18582	18402
變動率		-9.85%	-12.31%	-13.73%	-14.43%	-15.26%
肥料費	18586	22474	22403	22280	22157	21977
變動率		20.92%	20.54%	19.88%	19.21%	18.24%

資料來源：張及林(1998)。

註一：實質費用係將各項費分別用該費用價格上升率加以平減後所得之數目。

註二：變動率係指各模擬所得之實質費用與基期年實質費用的百分比差距。

其次針對氧化亞氮之減量，張及林(1998)二人所作之分析是以肥料價格的上升代表氮稅之課徵，肥料費為農業投入中重要的一項，其中又以蔬菜及水果對於肥料的依賴程度較大，分別佔中間投入之三成以上，因此，肥料費的變動預期將對於農作物產品中蔬菜及水果類作物影響程度較大。但是由模擬所得結果各類作物之變動情況加以比較，發現蔬菜、水果之價格與數量的增減幅度並不大，而糧食類生產則有增加現象，整體生產者福利以及肥料使用量皆呈下降現象，這些變化顯示由於肥料並無其它投入可以加以替代，生產者除了消極地減少使用量外，長期來說亦可以就現有之生產技術積極地自行設法吸收上漲的成本，或是透過作物組合之調整，或是改在肥料使用較少的地區來從事生產等方式來加以克服。

在福利分配方面之影響亦與碳稅之模擬結果截然不同，除了造成消費者福利微幅之上升外，生產者福利則明顯的下降。若由投入面來觀察，農作物耕地面積呈微幅之下降，而勞動力則無明顯之減少趨勢，主要是因為當肥料價格上升時，農作物的生產將會由肥料費相對較高的地區(或作物)轉到肥料費相對較低的地區(或作物)，這類移轉會伴隨著使用面積之減縮來共同抵消氮稅之衝擊，也因此生產者福利的下降主要是肇因於農地之釋出及農地報酬之減少。

使用課徵氮稅作為溫室氣體減量之政策工具，張林二人發現在現有之技術下，生產者必須透過作物組合或是生產區域之調整來

加以因應，肥料使用量的明顯下降不但對氧化亞氮排放減量有所貢獻，也同時對能源節約與二氧化碳之排放減量有少許正面貢獻。不過如楊盛行(1996)之建議：多利用有機肥料、不過度施肥、部分使用緩效性氮肥及添加硝酸鹽生成之抑制劑等技術上之突破未來仍值得吾人注意並作較為深入之探討。

最後針對甲烷之減量，張及林(1998)曾以養豬業增加沼氣回收設備作為減量策略加以評估，這些設備投入成本的上升會造成毛豬價格上升與產量下降，但因沼氣回收後亦有發電、保溫等功能，對生產者福利與消費者福利僅有極微幅之下降，因此，此種環保設施之增設對於整體社會而言不會造成太多經濟上負面的影響，但另一方面，由於此減量措施能有效抑制甲烷的排放量，故經濟上負面的影響可被此正面效益抵消。若就減量成效來看，沼氣回收設備的利用能減少目前甲烷排放量之六成以上，效果十分顯著。此外，沼氣回收設備若能達到規模經濟，且考慮回收沼氣所帶來的效益，未來沼氣回收成本可能極少，甚至可能轉為有淨效益，那麼此減量措施未必造成毛豬飼養頭數之減少，反而有可能會加速中小養豬戶之淘汰，這種規模上的結構性變化，值得進一步研究。

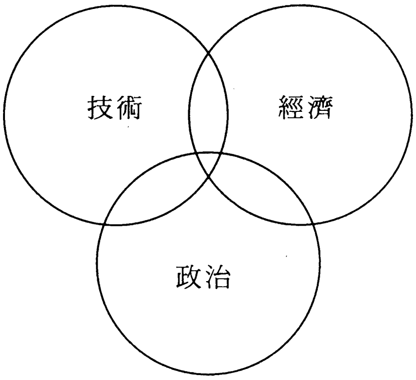
在植樹計畫之可行性評估方面，初步結果發表在Chang(1998)，根據文中指出在方法上必須將前面所建立之台灣農業部門模型予以擴充，納入台灣各地區林業生產與砍伐部門，藉以分析利用植樹來吸取大氣層二氧化碳計劃之可行性。除了搜集林業部門之造林、砍伐、加工、進出口等產銷過程所發生的收益、生產成本、價格與單位面積產量等資料外，亦將有關林業部門之產銷活動以及所使用之土地、勞動力等狀況納入擴建之台灣農業部門模型中的林業產品市場與主要投入要素市場中，並且要搜集各種類樹木成長期間每立方單位材積所可吸收之二氧化碳，作為模型分析植樹計劃供給面之依據。最後再根據政府相關單位所設定或選取的二氧化碳吸取目標，作為植樹面積需求面之依據，並依供需均衡原理來求得最適之植樹面積均衡解。由於所建立之部門模型具有計算社會福利及其分配之能力，可根據均衡解求算社會福利分配值，作為評估此項植樹計劃之邊際成本與邊際效益之基準，以及植樹計劃本身對降低溫室氣體之貢獻，這些結果也同時用來評估政府鼓勵農地造林所實施之補貼政策。

根據Chang(1998)所建立之農林業部門模型之初步估算結果，目前台灣的森林分佈狀況每年約可吸取25百萬公噸二氧化碳，因此報告中以25百萬公噸作為起始點，分別設定5、10、15、20、25、30百萬公噸的二氧化碳吸取目標來模擬。由實証結果得知，若以吸取5百萬公噸為目標，成本非常低，因為此時僅需要調整現有森林之樹種極可達成目標；若以10百萬公噸為目標，則吸取成本約合每公噸20美元，因為此時必須將20萬公頃未造林之林地加以植樹造林。若吸取目標超過10百萬公噸，則必須有農地加入造林行列，且單位邊際成本也逐漸遞增，特別是超過25百萬公噸時。就目前的全民造林之補貼標準而言，應可達到吸取10-15百萬公噸的目標，若依黃及方(1993)的估算台灣必須減少127百萬公噸二氧化碳方能符合FCCC的要求，此吸取量約達預計減量目標的十分之一，但在政府造林預算之限制下，此目標可能無法達成。

伍、結　　語

回顧近年來有關溫室效應及減量措施對農業生產的經濟影響評估文獻，我們可發現無論在分析方法或資料上仍有許多待改進之處。首先，全球氣候的變遷對農業生產的經濟影響評估不能與大氣、海洋、農藝等科技研究脫節，評估之結果也必須能提供政府決策者制定減量策略及因應措

施之參考，故技術，經濟及政治三個層面的研究皆有其重要性，如《圖四》所示，但其間的關聯性一定要在研究中加以闡明，方稱為一個完整的研究架構。技術方面的研究強調的是澄清氣候變遷與農業生產之間的關係，並對各種減緩或調適技術提出建議；而經濟面的分析則以減量時所用各種技術或經濟工具之成本與效益為主，除了計算比較各種減量工具成本與效益的大小外，更重要的是能判斷出那些人或地區會受到損失，那些人或地區會獲利，如此方能協助決策者在兼顧公平與效益的原則下作政策上之抉擇；政治面的分析則除了考慮技術與經濟層面之均衡外，亦必須考量各政治利益團體之間錯綜複雜的權衡利害關係。



《圖四》溫室氣體減量研究的三個層面

其次，在成本面的分析方面，待改進之處除了建立一個完整研究架構外，目前大多數實証研究多偏重單一國家的評估，很少有跨國性之研究成果，因此無法看出國與國之間的利害關係與差異所在，也造成國際談判上許多爭議的發生，因此對設定全球減量標準與尋求國際合作策略上仍有許多待這類全球性研究來加以突破。

第三，在效益面的方析方面，待改進之處仍是集中在如何評估氣候變遷所造成之損害程度，諸如：長期損害與短期損害之劃分、涵蓋項目的多寡、計算範圍的極限如何界定、與其他非氣候所造成之環境問題應如何加以澄清、……等等，另一方面尚待改進之處則是因應與調適策略之研究，這方面研究受資料上的限制，僅有少數地區有資料可供研究，同時在研究方法上也待突破，方能在資料有限的情況下提供最具意義之分析結果，而臺灣本土之研究更亟待開發。

最後，在政策分析層面，現有研究文獻雖提出一些減量策略成本效益之比較，但這些減量策略之間的衝突與互補性差異很少，更缺少的是這些減量策略與現行的其他政策(價格補貼、休耕補貼、進出口保護、關稅自由化、肥料產銷民營化、作物保險制度等)之間關係的研究、減量策略所造成之所得分配效果、以及對政府財政收支平衡的影響(Repetto, et al.，1992)等方面也亟待更多的學者繼續共同合作努力。

陸、引用文獻

李秉正. 1997.「溫室效應防治政策對台灣的經濟影響評估」，發表於黃宗煌主編因應溫室效應之經濟工具及其經濟影響研討會論文集. p.97-120。新竹：清華大學人文社會學院台灣研究室與台北：中央研究院經濟研究所。

柳中明. 1995.「全球氣候變遷對台灣之影響與因應初探」。發表於全球氣候變遷對台灣之影響與因應研究規劃研討會。台北：台灣大學。

柳中明等. 1996.「氣候變化綱要公約之國家通訊建議稿(部份文章)」，全球變遷通訊 10：1-16。

柳中明等. 1997.「國際壓力對我國參與溫室氣體排放減量之可能時程與目標量預測」，全球變遷通訊16：17-21。

張四立. 1995.「氣候變遷的經濟及產業結構衝擊分析」。發表於氣候變遷的衝擊：制度與人文面向研討會。台北：台灣大學。

張靜貞 陳吉仲. 1995.「農業保護政策與生產結構變動對台灣農業部門福利分配之影響」，發表於民國八十三年中國農村經濟年會，並刊載在臺灣土地金融季刊32(第1期，NO. 123)：67-82。

張靜貞. 1996.「台灣農業部門模型與其在政策分析之應用」，國科會八十三年度經濟學門專題計劃研究成果發表會論文集. p. 27-56。

張靜貞 林依瑩. 1998. "溫室氣體排放減量對台灣農業部門之影響"，臺灣經濟學會年會論文集, 1996。

許志義. 1995.「課徵碳稅對台灣經濟影響之分析」，行政院國科會。NSC84-2415-H-170-001。

黃宗煌. 1996.「溫室氣體排放減量政策公具之形成與比較」。行政院國科會計畫報告編號85-2621-P007-003。

楊盛行. 1996.「溫室效應機制及預測——因應『氣候變化綱變公約』之整合計劃：(2)我國森林吸收CO_2之涵容估算和我國溫室氣體中烷與氧化亞氮排放與IPCC估算之差距，期中報告。行政院環境保護署補助研究計劃。EPA 85-1003-09-13。

葉俊榮. 1995.「氣候變遷的國際法規範」。行政院環保署。EPA-84-E3U1-09-03。

劉克智. 1996.「溫室氣體排放減量對台灣人口分佈與都市發展之影響」。行政院國科會計畫報告編號84IA01E059。

劉錦添 郭秋雲. 1995.「氣候因素對臺灣農業生產的影響，1921年至1991年」，發表於劉翠溶與矧伊懋可主編積漸所至—中國環境史論文集，p. 633-672。台北：中央研究院經濟研究所。

羅昌發. 1995.「全球氣候變遷之國際規範對貿易本身及對貿易體系之影響」。發表於氣候變遷的衝擊：制度與人文面向研討會。台北：台灣大學。

蕭代基 吳慧瑛. 1996.「溫室效應對稻米產量之跨國分析」。行政院國科會計畫報告編號NSC85-2621-P001-005。

謝志誠. 1997.「經濟大風暴前的寧靜「氣候變遷綱要公約」的衝擊與省思」，全球變遷通訊。16: 21~29.

Adams, R. M., S. A. Hamilton and B. A. McCarl. 1986. The Benefits of Air Pollution Control : The Case of Ozone and U.S. Agriculture. American Journal of Agricultural Economics 68: 886-894.

Adams, D.M., R.J. Alig, B.A. McCarl, J.M. Callaway and S. M. Winnett. 1996. An Analysis of the Impacts of Public Timber Harvest Policies on Private Forest Management in the U.S. Forest Science 32: 119-134.

Adams, R.M., et al. 1990. Global Climate Change and U.S. Agriculture. Nature 345: 219-224.

Adams, R.M., C.C. Chang, B.A. McCarl and J. M. Callaway. 1992. "The Role of Agriculture in Climate Change: A Preliminary Evaluation of Emission Control Strategies." Chapter 15. Economic Issues in Global Climate Change: Agriculture, Forestry, and Natural Resources. J.M. Reilly and M. Anderson, eds., Westview Press, Boulder, Colo.

Adams, R.M., D.M. Adams, J.M. Callaway, C. C. Chang and B.A. McCarl. 1993. Sequestering Carbon on Agricultural Land: Social Cost and Impacts on Timber Markets. Contemporary Policy Issues 11: 76-87.

Amstel, A. R. and R. J. Swart. 1994. Methane and Nitrous Oxide Emissions : An Introduction. Fertilization resource, 37: 213-225.

Antle, J. M. 1995. Climate Change and Agriculture in Developing Countries. American Journal of Agricultural Economics, 77: 741-746.

Bowes, M. and P. Crosson. 1991. The MINK Project, Report VI, Consequences of Climate Change for the MINK Economy: Impacts and Responses. Washington DC: Department of Energy Carbon Dioxide Research Program.

Chang, C. C., B. A. McCarl and J. Richardson. 1992. Sectoral Implications of Program Modifications American Journal of Agricultural Economics 74: 38-49.

Chang, C.C. 1998. The Cost-Benefit Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction and Carbon Sequestration by Tree Planting on Agricultural Land. National Science Council Research Project Report No: NSC86-2621-P001-0099.

Darwin, R., M. Tsigas, J. Lewandrowski and A. Raneses. 1995. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptation. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, ERS Agricultural Economics Report NO. AER-709.

Duloy, J. H. and R. D. Norton. 1973. CHAC:A Programming Model of Mexican Agriculture. Multilevel Planning: Case Studies in Mexico. p.291-337. L. Gorenx and A Manne, ed. Amsterdam: North Holland Pub. Co.

Garcia, P., B.L. Dixon, J.W. Mjelde and R.M. Adams. 1986. Measuring the Benefits of Environmental Change Using a Duality Approach: The Case of Ozone and Illinois Cash Grain Farms. Journal of Environmental Economics and Management 13: 69-80.

Innes R. and S. Kane. 1995. Agricultural Impacts of Global Warming : Discussion. American Journal of Agricultural Economics 77: 747-750.

IPCC, 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Kaiser, H. M. and P. Crosson, 1995. Implications of Climate Change for U. S. Agriculture. American Journal of Agricultural Economics 77: 734-740.

Kaiser, H. M. et al. 1993. A Farm-Level Analysis of Economic and Agromic Impacts of Gradual Climate Warming. American Journal of Agricultural Economics 75: 387-398.

McCarl, B. A. and T. H. Spreen. 1980. Price Endogenous Mathematical Programming As a Tool for Sector Analysis American Journal of Agricultural Economics 62: 87-102.

Mendelsohn, R., W.D. Nordhaus and D. Shaw. 1994. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. American Economic Review 84:753-771.

Mendelsohn R., W.D. Nordhaus and D. Shaw. 1996, Climate Impacts on Aggregate Farm Value: Accounting for Adaptation. Agricultural and Forest Meteorology 80: 55-66.

Mendelsohn R., W.D. Nordhaus and D. Shaw, 1998, Chapter 4: Agriculture - The Richardian Approach. Robert Mendelsohn and James Neumann (eds.) The Impact of Climate Change on the U.S. Economy, (forthcoming).

OECD. 1991. Climate Change: Evaluating the Socio-Economic Impacts. Paris, France.

OECD. 1992. Global Warming: The Benefits of Emission Abatement. Paris, France.

Qureshi, A. and D. Hobbie, 1994. Climate Change in Asia : Executive Summary. Manila : Asian Development.

Parks, P.J. and I.W. Hardie. 1995. Least-Cost Forest Carbon Reserves: Cost Effective Subsidies to convert marginal Agricultural Land to Forests. Land Economics

71: 122-136.

Reilly, J. N., N . Hohmann and S. Kane. 1994. climate Change and Agricultural Trade: Who Benefit, Who Loses ? Global Environment Change 4: 24-36.

Reilly, J. 1995. Climate Change and Global Agriculture : Recent Findings and Issues. American Journal of Agricultural Economics 77: 727-733.

Repetto, R., R.C. Dower, R. Jenkins and J. Geoghegan, 1992. Green Fees: How Tax Shift Can Work for the Environment and the Economy, Washington, DC: World Resources Institute.

Rosenzweig, C. and M. C. Parry. 1994. The Potential Impact of Climate Change on World Agriculture. Nature 367: 133-138.

Smuelson P. A., 1952. Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. American Economic Review 42: 283-303.

Takayama, T. and G. G. Judge, 1971. Spatial and Temporal Price and Allocation Models. Amsterdam: North Holland Pub. Co.

Wolfe, D. W. and J. D. Erickson, 1993. Carbon Dioxide Effect on Plants: Uncertainties and Implications for Modeling Crop Response to Climate Change. Agricultural Dimensions of Global Climate Change. p.153-178. H. M. Kaiser and T.E. Drenne, ed. St. Lucie FL:St. Lucie Press.

Wu, H. 1996. The Impact of Climate Change on Rice Yield in Taiwan. Chapter 4 in The Economics of Pollution Control in the Asia Pacific. Edward Elgar Publishing.

Chapter 11 The Economic Impact of Global Climate Change and Emission Reduction Strategies on Agriculture

Ching-Cheng Chang
The Institute of Economics, Academia Sinica
Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

ABSTRACT

A doubling of atmospheric concentrations of carbon dioxide or its equivalent in CO_2 or other trace gases is expected to occur in fifty to one hundred years due to rapid industrialization. Climate is a major determinant of both the location and productivity of agricultural enterprises. As a source of trace gases including CH_4 and N_2O, agriculture is also identified as an area of concern in the current public policy discussions and research projects dealing with the potential effects of trace gases emission control strategies. In addition, there is a growing interest in the use of agricultural land as a potential sink for carbon through the establishment of forest plantation. To assist the public policy decision makers in reducing greenhouse gas emissions and addressing the consequences of global warming, economists have to provide timely assessment of the possible impacts of climate changes, as well as costs and benefits of alternative emission reduction strategies. This chapter presents a brief survey of the present literature on economic evaluation on climate change during the past decade. Both the cost and benefit on emission reduction strategies are evaluated and an attempt will be made to highlight the directions for future research.

Key words: Global warming, Agricultural production, Public policies, Economic evaluation, Cost, Benefit.